



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 44 11 055 C 2

51 Int. Cl.⁸:
H 02 K 9/19

21 Aktenzeichen: P 44 11 055.3-32
22 Anmeldetag: 30. 3. 94
43 Offenlegungstag: 10. 8. 95
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 7. 97

DE 44 11 055 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Innere Priorität: 32 33 31
08.02.94 DE 44 03 808.9

73 Patentinhaber:
Baumüller Nürnberg GmbH, 90482 Nürnberg, DE

74 Vertreter:
Matschkur Götz Lindner, 90402 Nürnberg

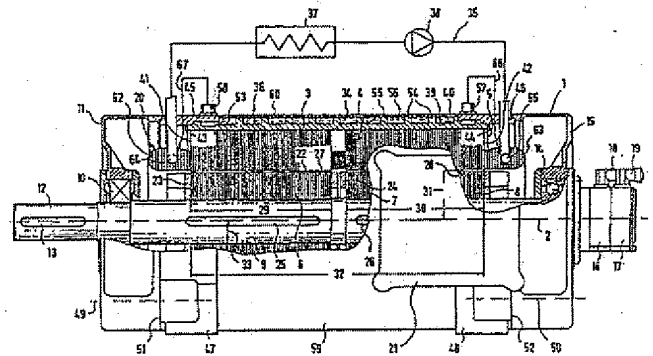
72 Erfinder:
Kreissfeld, Peter, Dr.-Ing., 90518 Altdorf, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	31 35 223 A1
DE-OS	21 45 128
DE-OS	21 04 665
DE-GM	18 13 190
GB	9 47 652
US	49 59 570

54 Hochdynamischer Elektromotor

57 Hochdynamischer Elektromotor (1) mit einem eine drei-phasige Drehstromwicklung (20) tragenden Ständer (5) aus magnetischem Werkstoff, der eine kreiszylindrische Ausnehmung (27, 28) für einen Innenläufer mit einem magnetischen Teil (8) entsprechender Abmessungen umschließt, wobei die Länge (32) des magnetischen Teils des Läufers (8) mindestens etwa drei- bis viermal so groß ist wie dessen Radius (31), mit einem Kühlkreislauf (35), in dem ein flüssiges Kühlmittel (34) zirkuliert, das zwischen zwei zumindest teilweise voneinander beabstandeten, den Ständer (5) etwa konzentrisch umschließenden Hülzen (39, 40) strömt, wobei die innere Hülse (39) aus gut wärmeleitendem Werkstoff, vorzugsweise Metall, gefertigt ist und an der Ständeraußen- seite unter Ausbildung eines Übergangs mit geringem Wärmewiderstand vollflächig anliegt und mit einer Ständer- wickelkopf Kühlung, die mit dem Kühlkreislauf (35) für das in den Hülzen (39, 40) strömende Kühlmittel (34) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Ständerwickelkopf Kühlung aus einem innerhalb jedes ständerseitigen Wicklungskopfes (62, 63) ringförmig die Motorachse (2) etwa konzentrisch umgebenden Rohr (64, 65) besteht, und daß der magneti- sierbare Teil von Ständer (5) und Läufer (8) aus jeweils mehreren, in axialer Richtung (2) voneinander beabstan- deten Einheiten (3, 4; 6, 7) zusammengesetzt ist.



DE 44 11 055 C 2

Die Erfindung richtet sich auf einen hochdynamischen Elektromotor mit einem dreiphasigen Drehstromwicklung tragenden Ständer aus magnetischem Werkstoff, der eine kreiszylindrische Ausnehmung für einen Innenläufer mit einem magnetischen Teil entsprechender Abmessungen umschließt, wobei die Länge des magnetischen Teils des Läufers mindestens etwa drei- bis viermal so groß ist wie dessen Radius, mit einem Kühlkreislauf, in dem ein flüssiges Kühlmittel zirkuliert, das zwischen zwei zumindest teilweise voneinander beabstandeten, den Ständer etwa konzentrisch umschließenden Hülisen strömt, wobei die innere Hülse aus gut wärmeleitendem Werkstoff, vorzugsweise Metall, gefertigt ist und an der Ständeraußenseite unter Ausbildung eines Übergangs mit geringem Wärmewiderstand vollflächig anliegt und mit einer Ständerwickelkopf Kühlung, die mit dem Kreislauf für das in den Hülisen strömende Kühlmittel verbunden ist. (OS 49 595)

In vielen industriellen Anwendungsbereichen besteht das Bedürfnis nach einem hochdynamischen Antrieb. Ein Beispiel hierfür ist die Herstellung von Papier. Das dabei auf einer Papiermaschine erzeugte Rohpapier hat zunächst die Form einer endlosen Papierbahn, welche zur Lagerung auf Papierrollen aufgewickelt wird. Eine solche Papierbahn muß in kleinere Einheiten, schließlich in Papierbögen geschnitten werden. Da die Papierbahn bei unveränderter Längsgeschwindigkeit durchtrennt werden soll, muß das hierfür verwendete Messer von einem speziellen Antrieb kurzzeitig auf eine entsprechende Geschwindigkeit beschleunigt und nach Ausführung des Schnitts sofort wieder zum Stillstand abgebremst werden. Solche Anwendungsfälle erfordern Elektromotoren mit einem Höchstmaß an Beschleunigungsvermögen.

Zu diesem Zweck sind bereits besonders leistungsstarke Elektromotoren entwickelt worden. Eine Forderung bei der Entwicklung hochdynamischer Antriebe ist es, das Massenträgheitsmoment zu minimieren, wobei insbesondere auch das durch die rotierenden Massen des Läufers verursachte Trägheitsmoment zu berücksichtigen ist. Bei der Entwicklung eines hochdynamischen Antriebsmotors wird darüber hinaus immer ein möglichst hohes Drehmoment notwendig sein, da auch dieser Motorparameter das Beschleunigungsvermögen maßgeblich beeinflußt. Deshalb besteht bei einem derartigen Motor die Gefahr, daß dieser sich bei Dauerbetrieb an seiner Leistungsgrenze stark erwärmt und dadurch die Motorwicklung überhitzt und zerstört wird.

Deshalb ist bspw. in der DE-OS 21 45 126 eine Ölsprühkühlung insbesondere für die Wickelköpfe offenbart, damit die Kupferverluste, welche durch die zur Erzeugung eines hohen Drehmoments notwendigen Ströme hervorgerufen werden, schnell aus der Maschine abgeführt werden können. Jedoch wird hier das Öl ausschließlich von außen auf die Wickelköpfe gesprüht, so daß der Wärmeaustausch zwischen diesen und der Kühlmittelflüssigkeit nicht sehr intensiv ist. Gerade moderne Motoren müssen extrem hohe Beschleunigungen aufbringen, so daß die dabei anfallenden Stromverluste durch reine Sprühkühlung nicht in ausreichendem Umfang abgeleitet werden können.

Deshalb ist in der DE-OS 31 35 223 eine besondere Ausgestaltung der Wickelkopf Kühlung vorgeschlagen worden, die darin besteht, daß die Statorwicklung in zwei Schichten unterteilt ist, wobei die Wickelköpfe der beiden Schichten einen rundumlaufenden Spalt ein-

schließen, in welchen ein oder mehrere ringförmige Rohre für ein flüssiges Kühlmittel eingelegt sind. Auch hier fließt jedoch das Kühlmittel tangential an den beiden Schichtwicklungen vorbei, so daß der Wärmeaustausch nicht als ideal bezeichnet werden kann.

In weiterer Verbesserung dieses Gedankens ist bei der GB-PS 947,652 vorgesehen, die Wickelkopf Kühlrohre direkt in das Gießharz der Statorwicklung einzugießen. Hier ist zwar der Kontakt zwischen dem Rohr und den Wicklungen optimal, allerdings wird das Kühlrohr aus thermisch isolierenden Plastikmaterial gebildet, um Kurzschlüsse zu vermeiden.

Neben den drehmomentabhängigen Kupferverlusten treten in leistungsstarken Elektromotoren bei hohen Drehzahlen auch infolge der hohen Ummagnetisierungsrate der Ständerblechpakete erhöhte Eisenverluste auf, welche zusätzliche Kühlungsmaßnahmen erforderlich machen. So ist in der US-PS 4,959,570 zusätzlich zu einer Wickelkopf Kühlung, bei welcher eine Flüssigkeit durch zwei im Bereich je eines Lagerschilds angeordnete, oberseitige Öffnungen in das Maschineninnere gepreßt wird und dort entlang der Wickelköpfe durch die Freiräume der Maschine nach unten zu Auslaßöffnungen fließt, ein das Statorblechpaket an dessen Außenseite umgebender Ölmantel vorgesehen, der aus einer Innenhülse mit einer wendelförmigen Nut und einer dichtend aufgeschobenen Außenhülse besteht, wobei in diese Nut durch eine weitere Öffnung des Mantels eine Kühlflüssigkeit eingepreßt wird, die am gegenüberliegenden Ende der wendelförmigen Vertiefung wieder austritt. Hier ist zwar sowohl eine Wickelkopf Kühlung vorgesehen, die bei hohen Drehmomenten wirksam wird, sowie auch eine die Wärme des Statorblechpakets abführende Kühleinrichtung vorhanden. Allerdings sind hier alle Kühleinrichtungen getrennt anzuschließen, da sie mit demselben Eingangsdruck betrieben werden, und sind damit voneinander unabhängig. Da andererseits aufgrund der begrenzten Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels die an einem Ort des Motors anfallende Wärme nur relativ langsam abgeführt werden kann, sind insbesondere bei gepulstem Betrieb, wie er hochdynamischen Elektromotoren vielfach abverlangt wird, häufige Aufheiz- und Abkühlphasen einzelner Bereiche des Motors, insbesondere Statorwicklung einerseits und Statorblechpaket andererseits, unvermeidlich. Dies führt dazu, daß während der häufigen Temperaturänderungen mechanische Relativspannungen zwischen Statorwicklung und Statorblechpaket auftreten, welche eine Relativbewegung hervorrufen. Diese Reibungen können schnell zu Beschädigungen der Wicklung führen, welche den Motor unbrauchbar machen.

Um hier Abhilfe zu schaffen, ist bspw. in dem DE-GM 18 13 190 zusätzlich zu einer das Statorblechpaket umgebenden Kühlrohrschlange eine Wicklungskopf Kühlung in Form eines Innenluftstroms vorhanden, der von einem der Motorwelle sitzenden Ventilator in Gang gehalten wird und sowohl über die Wicklungsköpfe des Stators wie auch über die Außenseite der Kühlrohrschlange strömt. Hierdurch wird eine gewisse Kopplung der Kühlsysteme erzeugt, so daß sich lokale Überhitzungen auch anderen Bereichen des Motors mitteilen. Allerdings ist hier die Intensität des Innenluftkühlstroms von der Drehgeschwindigkeit des darauf befindlichen Ventilators abhängig und kommt bei Stillstand des Motors völlig zum Erliegen. Wird der Motor daher im Stillstand mit seinem Nennmoment beaufschlagt, findet überhaupt keine Kühlung der Wickelköpfe statt, und die lokale Überhitzung dieses Maschinenteils hat die oben

bereits angesprochenen mechanischen Spannungen gegenüber dem Statorblechpaket zu Folge.

Schließlich ist in der DE-OS 21 04 665 das Kühlsystem einer elektrischen Maschine derart ausgebildet, daß ein Kühlmedium in Längsrichtung durch axiale Freiräume der Maschine strömt und dabei einerseits die Wicklungsköpfe umspült und andererseits durch axiale Kanäle des Stator- und Rotorblechpakets fließen kann. Hierbei ist zwar eine Reduzierung der temperaturbedingten, mechanischen Spannungen möglich, allerdings sind zu diesem Zweck axiale Bohrungen in den Blechpaketen erforderlich, welche die magnetische Induktion erheblich schwächen und demnach den Wirkungsgrad der Maschine reduzieren.

Aus den Nachteilen des vorbekannten Stands der Technik resultiert das die Erfindung initiiierende Problem, einen hochdynamischen Elektromotor mit den gattungsgemäßen Merkmalen derart weiterzubilden, daß einerseits eine möglichst intensive Kühlung der Statorwicklung möglich ist, um die bei hohen Drehmomenten anfallenden Kupferverluste ableiten zu können, daß weiterhin eine Kühlung des Statorblechpakets vorhanden ist, um die bei hohen Drehzahlen anfallenden Eisenverluste aus der Maschine abzuleiten, und daß schließlich bei hochdynamischem, insbesondere gepulstem Betrieb die infolge der wechselnden Betriebszustände anfallenden, lokalen Überhitzungen einzelner Maschinenteile nicht zu mechanischen Spannungen zwischen Statorwicklung und Statorblech führen können.

Zu diesem Zweck sieht die Erfindung als erste Maßnahme bei einem gattungsgemäßen Elektromotor vor, daß die Ständerwickelkopf Kühlung aus einem innerhalb jedes ständerseitigen Wicklungskopfes ringförmig die Motorachse etwa konzentrisch umgebenden Rohr besteht, und daß der magnetisierbare Teil von Ständer und Läufer aus jeweils mehreren, in axialer Richtung voneinander beabstandeten Einheiten zusammengesetzt ist. Hiermit wird einerseits zusätzlich zu der mantelseitigen Kühlvorrichtung für das Statorblechpaket eine intensive Kühlung der Statorwickelköpfe bewirkt, so daß für hohe Dauerbelastungen eine wirkungsvolle Kühlung vorhanden ist. Um die temperaturbedingten Spannungen zwischen Statorwicklung und -blechpaket zu reduzieren, ist vorgesehen, daß der Ständer und demzufolge auch der Läufer in axialer Richtung in mehrere Einheiten unterteilt ist. Hierdurch reduziert sich die effektive Länge eines Statorblechpakets und demzufolge auch dessen lineare Ausdehnung bei einer bestimmten Temperaturänderung, so daß die Relativbewegungen infolge lokaler Überhitzungen deutlich herabgesetzt sind.

Eine zweite Maßnahme zur Lösung des erfindungsgemäßen Problems ist, daß die Ständerwickelkopf Kühlung aus einem innerhalb jedes ständerseitigen Wicklungskopfes ringförmig die Motorachse etwa konzentrisch umgebenden Rohr besteht, wobei die Kühlrohre mit dem hülsenförmigen Wärmetauscher derart in Serie geschaltet sind, daß ein Kühlrohr stromaufwärts, das andere Kühlrohr stromabwärts desselben angeordnet ist. Hier ist zum einen wiederum die intensive Wickelkopf Kühlung vorgesehen, andererseits erfolgt durch die Reihenschaltung der Wickelkopf Kühlungen mit dem hülsenförmigen Wärmetauscher eine intensive, wärmemäßige Kupplung zwischen Wicklung und Hülse bzw. Außenumfang des Statorblechpakets, so daß jede Temperaturänderung in einem dieser Elemente auf kürzestem Weg auf das andere Element übertragen wird. Hierbei ist eine bidirektionale Wärmeübertragung möglich, da ein Kühlrohr stromaufwärts des mantelseitigen Wärme-

tauschers angeordnet ist, so daß übermäßige, in der Wicklung anfallende Wärme auf kürzestem Weg auf den mantelseitigen Wärmetauscher und von dort auf das gesamte Statorblechpaket übertragen werden kann, während eine umgekehrte Wärmestromrichtung an der gegenüberliegenden Stirnseite des Elektromotors möglich ist, wo das Kühlmittel von dem Statorblechpaket zu dem Wickelkopf fließt. Infolge dieses intensiven Wärmeaustauschs kann es überhaupt nicht zu lokalen Überhitzungen kommen, so daß auch bei gepulstem Betrieb keine übermäßigen, mechanischen Spannungen innerhalb des Stators auftreten und die Lebensdauer des Motors erhöht ist.

Den bauartbedingten, besonders hohen Anforderungen an das Kühlsystem trägt die Erfindung dadurch Rechnung, daß eine Kühlvorrichtung mit einem Kühlkreislauf, in dem ein flüssiges Kühlmittel zirkuliert, vorgesehen ist. Durch den intensiven Kontakt des flüssigen Kühlmittels mit den aktiven Teilen des Elektromotors wird ein besonders hoher Wärmeübergang und damit eine sehr effektive Kühlung des Elektromotors gewährleistet. Als Kühlmittel kann beispielsweise Öl verwendet werden, dessen Siedepunkt relativ hoch liegt und welches aus diesem Grund gerade bei einer kurzzeitigen Überhitzung des hochdynamischen Elektromotors eine einwandfreie Kühlung ermöglicht. Da die Motorausentemperatur jedoch ohnehin auf sehr niedrigem Niveau gehalten werden muß, ist insbesondere beim Einbau von Temperaturfühlern auch eine Kühlung mit Wasser ausreichend.

Die Kühlflüssigkeit durchströmt vorzugsweise einen zweiten, außerhalb des Elektromotors angeordneten Wärmetauscher, in welchem die Wärme auf ein weiteres Kühlmittel (Sekundärkreislauf) übertragen oder an die umgebende Luft abgegeben wird. Die Zirkulation des Kühlmittels kann entweder durch die natürliche Wärmeausdehnung des im Bereich des hochdynamischen Elektromotors erwärmten Kühlmittels hervorgerufen und aufrechterhalten werden, wenn der externe Wärmetauscher höher plaziert ist als der hochdynamische Elektromotor. Zuverlässiger ist jedoch der Einsatz einer Kühlmittelpumpe, welche eine gleichbleibende Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels sicherstellt.

Aufgrund der besonders hohen Länge des erfindungsgemäßen, hochdynamischen Elektromotors ist ein den Ständer entlang dessen gesamter Mantelfläche umgebender Wärmetauscher in der Lage, die anfallende Verlustwärme aus allen Bereichen der magnetisch aktiven Motorteile gleichermaßen abzutransportieren.

Indem die Kühlflüssigkeit in den Zwischenräumen zwischen zwei zumindest teilweise voneinander beabstandeten, den Ständer etwa konzentrisch umschließenden Hülsen zirkuliert, ergeben sich herstellungstechnische Vorteile, da entsprechende, rohrartige Hülsen entweder aus fertigen Metallrohren bestehen oder auf einfachste Art aus gebogenen Metallblechen zusammengeschweißt sein können. Darüber hinaus ist jedoch auch die Herstellung als Gußteil möglich. Ein hülsenförmiger Wärmetauscher bietet weiterhin den Vorteil, daß der Ständer problemlos in den Wärmetauscher hineingeschoben werden kann.

Eine innere Hülse aus gut wärmeleitendem Werkstoff, vorzugsweise Metall, wirkt sich günstig auf den Wärmeabtransport aus. Zur Verringerung des Widerstands dient ein möglichst großflächiger Kontakt zwischen der äußeren Mantelfläche des Ständers und der inneren Hülse. Ein solcher inniger Kontakt kann beispielsweise dadurch erzeugt werden, daß der Innen-

umfang der Hülse etwas geringer ist als der Außenumfang des Ständers. Zum Einsetzen des Ständers kann die Hülse beispielsweise erhitzt werden, so daß sie sich geringfügig aufweitet. Bei Verwendung eines geblechtem Ständers ist es auch möglich, das fertige Blechpaket unter axialem Druck in die innere Hülse des Wärmetauschers hineinzupressen.

Es hat sich als günstig erwiesen, daß die innere Hülse als den Ständer tragendes Bauteil ausgebildet und mit den Motorbefestigungselementen, insbesondere Befestigungslaschen, und/oder mit den Lagerschilden, form- und/oder reibschlüssig verbunden ist. Da die innere Hülse den Ständer gemäß dem vorhergehenden Merkmal unter mechanischer Zugspannung und damit reibschlüssig umgibt, ist der Ständer gleichsam drehfest in die innere Hülse hineingezwängt. Aus diesem Grund ist es möglich, die innere Hülse zur Ableitung des auf den Ständer einwirkenden Drehmoments zu verwenden und zu diesem Zweck reib- und/oder formschlüssig mit den Befestigungselementen des Motors zu verbinden. Die betreffenden Befestigungselemente, insbesondere Befestigungslaschen, können dabei entweder direkt an der inneren Hülse befestigt sein, oder sie befinden sich an stirnseitigen Motorteilen wie beispielsweise den Lagerschilden, so daß in diesem Fall eine drehfeste Verbindung mit den stirnseitigen Motorteilen ausreichend ist. Eine steife Verbindung mit den Lagerschilden ist darüber hinaus unabdingbar, um die relative Lage zum Läufer fest vorzugeben und dadurch für eine konstante Dicke des Luftspalts zu sorgen.

Weitere Vorteile ergeben sich daraus, daß die äußere Hülse einen Teil des Motorgehäuses bildet. Indem dieser äußere Teil des motorseitigen Wärmetauschers als mantelseitiger Gehäuseabschnitt des Elektromotors gestaltet ist, ergibt sich bereits hier eine teilweise Wärmeabgabe an die Umgebung, bedingt durch die natürliche Konvektion der Umgebungsluft einerseits sowie durch die Abstrahlung der etwa auf Kühlmitteltemperatur aufgeheizten, äußeren Hülse andererseits. Wenn die innere Hülse erfindungsgemäß als den Ständer tragendes und die beiden Lagerschilde miteinander verbindendes, in sich steifes Bauteil ausgeführt ist, kann die äußere Hülse relativ dünnwandig ausgebildet sein, so daß die Temperaturdifferenz zwischen Kühlmittel und Gehäuseaußenseite sehr gering ist und der zusätzliche Kühlungseffekt so groß als möglich wird.

Die Erfindung läßt sich vorteilhaft dahin weiterbilden, daß die innere Hülse an ihrer Außenseite Kühlrippen aufweist. Solche Kühlrippen vergrößern die Kontaktfläche zwischen der Außenseite der inneren Hülse einerseits und der Kühlflüssigkeit andererseits. Je größer diese Kontaktfläche ist, um so intensiver kann der Wärmeaustausch zwischen der den Ständer umschließenden Hülse und dem Kühlmittel sein. Diese Maßnahme erhöht somit die Leistungsfähigkeit des Kühlkreislaufs. Die Kühlrippen lassen sich ohne zusätzlichen Aufwand direkt an die Innenhülse anformen und mit dieser zu einem einstückigen Motorteil integrieren, wenn die innere Hülse als Gußteil hergestellt wird.

Eine weitere Optimierung des motorseitigen Wärmetauschers läßt sich dadurch erreichen, daß die äußere Hülse auf den Kühlrippen aufliegt, so daß sich zwischen denselben Strömungskanäle für die Kühlflüssigkeit ergeben. Diese erfinderische Maßnahme erlaubt es der Außenhülse, sich auf einer Vielzahl relativ gering voneinander beabstandeter Kühlrippen abzustützen. Hierdurch wird einerseits die Stabilität insbesondere der äußeren Hülse des Wärmetauschers erhöht, so daß deren

Querschnitt auf die Stärke eines dünnen Blechs reduziert werden kann. Die Folge ist ein minimaler Widerstand zwischen dem Kühlmittel einerseits und der Umgebungsluft andererseits. Darüber hinaus entsteht im Bereich der Stirnseiten der Kühlrippen ein direkter Kontakt zwischen den beiden Hülse des motorseitigen Wärmetauschers, so daß ein Teil der Verlustwärme unter Umgehung des Kühlmittels direkt an die Umgebungsluft abgegeben werden kann.

Schließlich werden zwischen Außen- und Innenhülse und den dazwischen befindlichen Kühlrippen Strömungskanäle gebildet, welche eine definierte Strömungsrichtung des Kühlmittels innerhalb des motorseitigen Wärmetauschers gewährleisten. Durch entsprechende Formgebung der Kühlrippen läßt sich eine nahezu beliebige Anordnung der Strömungskanäle innerhalb des motorseitigen Wärmetauschers erreichen, so daß während des Betriebs übermäßig erhitzte Motorbereiche besonders intensiv gekühlt werden können. In diesem Zusammenhang verdient der Umstand Berücksichtigung, daß die Menge der von dem Kühlmittel aufgenommenen Motorverlustwärme proportional zu der Temperaturdifferenz zwischen der Innenhülse einerseits und dem Kühlmittel andererseits ist. Der Wärmetauscher ist also im Bereich der dem Einlaß direkt nachgeordneten Strömungskanäle besonders effektiv, da diese von der in einem externen Wärmetauscher abgekühlten Flüssigkeit durchströmt werden, so daß sich hier eine besonders hohe Temperaturdifferenz ergibt und das Kühlmedium dem Motor besonders viel Verlustwärme entziehen kann. Durch entsprechende Gestaltung der dem Einlaß nachgeordneten Strömungskanäle können also bestimmte Bereiche des Motors besonders effektiv gekühlt werden.

Eine günstige Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die Kühlrippen die innere Hülse in Form von kreisförmigen Stegen umgeben. Diese Rippenanordnung schafft einen besonders gleichmäßigen Auflagebereich für die Außenhülse und verleiht dieser dadurch ein Höchstmaß an mechanischer Stabilität.

Es hat sich als sinnvoll erwiesen, zwischen den einzelnen, etwa kreisförmigen Strömungskanälen achsparparallele Verbindungskanäle vorzusehen. Dadurch läßt sich ein geometrisch optimaler Strömungsverlauf innerhalb des motorseitigen Wärmetauschers erreichen. Die Kühlflüssigkeit umströmt dabei den Ständer auf kreisförmigen Bahnen und wird nach Durchlauf je eines mehr oder weniger geschlossenen Vollkreises durch einen achsparparallelen Verbindungskanal in den nächsten, kreisförmigen Strömungskanal eingeleitet. Nach und nach bewegt sich die Kühlflüssigkeit vom Einlaß zum Auslaßkanal und nimmt dabei ständig Wärme auf. Um eine gleichmäßige Kühlung des Motors zu erreichen, ist es beispielsweise möglich, die Kühlflüssigkeit in mehrere parallele Strömungsarme aufzuteilen und dadurch die abgekühlte Flüssigkeit vom Einlaß direkt bestimmten Oberflächenbereichen des Wärmetauschers zuzuleiten. Beispielsweise kann ein Teil des Kühlmittels vom Einlaß durch einen achsparparallelen Strömungskanal etwa bis zur axialen Mitte des Ständers fließen und erst ab dort in etwa kreisförmigen Mäandern den Ständer umströmen, während die andere Hälfte der Kühlflüssigkeit direkt ab dem Einlaß einen mäanderförmigen Verlauf nimmt und in der zweiten Hälfte des Wärmetauschers auf direktem Weg zum Kühlmittelauslaß fließt, wo sie sich mit dem ersten Teil der Kühlflüssigkeit wieder vereinigt.

In Weiterbildung dieses Prinzips sieht die Erfindung zwei achsparparallele Verbindungskanäle vor, von denen

einer mit dem Einlaßkanal und der andere mit dem Auslaßkanal verbunden ist. Es handelt sich hierbei quasi um zwei Sammelkanäle, von denen die einzelnen, kreisförmigen Strömungskanäle abzweigen. Somit sind alle kreisförmigen Strömungskanäle mehr oder weniger parallel geschaltet, und die vom Einlaß kommende, abgekühlte Flüssigkeit wird auf alle Strömungskanäle etwa gleichmäßig aufgeteilt. Hierdurch läßt sich ein besonders gleichmäßiger Kühleffekt längs des gesamten Ständers erzeugen. Die beiden Sammelkanäle können entweder direkt nebeneinander angeordnet und durch einen achsparallelen Steg voneinander getrennt sein, oder sie sind an diametral einander gegenüberliegenden Bereichen der Innenhülse angeordnet, so daß das Kühlmittel jeweils nur einen halbkreisförmigen Kanal durchströmt, bis es in dem Auslaßkanal wieder gesammelt wird. Dadurch bilden sich etwa rippenförmige Strömungskanäle zwischen den mit Einlaß- und Auslaßkanal verbundenen Sammelkanälen aus. Um zusätzlich eine möglichst gleichförmige Aufteilung der Kühleistung entlang des Umfangs des Ständers zu erhalten, können mehrere, aus je zwei, um einen bestimmten Winkel gegeneinander versetzt angeordneten Sammelkanälen sowie aus einer Vielzahl von zwischen diesen eingeschalteten, kreisbogenförmigen Strömungskanälen bestehende Wärmetauscherabschnitte über den Umfang der äußeren Hülse verteilt angeordnet und von dem Kühlmittel parallel durchströmt sein.

Bei einer anderen Ausführungsform umgeben die Kühlrippen die innere Hülse in Form eines gewendelten Stegs. Hierbei findet die Kühlflüssigkeit innerhalb des motorseitigen Wärmetauschers einen wendelförmig und daher nur minimal gekrümmten Strömungskanal vor, so daß keinerlei Verwirbelungen auftreten, es bildet sich eine rein laminare Strömung aus. Aufgrund des daraus resultierenden, besonders niedrigen Strömungswiderstands eignet sich diese Ausführungsform besonders für Kühlkreisläufe ohne zusätzliche Kühlmittelpumpe, bei denen die Zirkulation des Kühlmittels nur durch die geringere Dichte des erwärmten Kühlmittels im Verhältnis zur abgekühlten Flüssigkeit in Gang gesetzt und aufrechterhalten wird. Es empfiehlt sich in diesem Fall, durch eine unsymmetrische Gestaltung von Einlaß- und Auslaßkanal Sorge dafür zu tragen, daß auch bei horizontal ausgerichteter Elektromotor die Kühlflüssigkeit in einer definieren Strömungsrichtung in Bewegung versetzt wird. Bei Verwendung einer Kühlmittelpumpe kann diese wegen des niedrigen Strömungswiderstands innerhalb des Kühlkreislaufts mit einer niedrigen Leistungsaufnahme und daher energiesparend dimensioniert werden.

Die Kühlflüssigkeit durchströmt die Wicklungsköpfe des Ständers. Die Wicklungsköpfe erwärmen sich bei hohen Ständerströmen infolge der ohmschen Verluste sehr stark. Andererseits sind diese Bereiche eines erfindungsgemäßen Motors nicht von Ständerblechen umgeben, so daß die auftretende Wärmemenge kaum zur Ständeraußenseite abgeführt werden kann. Um eine Überhitzung der ständerseitigen Wicklungsköpfe zu vermeiden, können diese Bereiche zusätzlich von Kühlflüssigkeit durch- oder umflossen werden.

Die in den Wicklungsköpfen angeordneten Kühlrohre können in Reihe mit einem den Ständer umgebenden Wärmetauscher angeordnet sein, so daß die Kühlflüssigkeit zunächst ein Kühlrohr, daraufhin einen den Ständer umgebenden Wärmetauscher und schließlich das zweite Kühlrohr im Bereich des gegenüberliegenden Wicklungskopfs durchströmt. Andererseits ist es aber auch

möglich, die Kühlrohre parallel zu dem ständerseitigen Wärmetauscher zu schalten, so daß die einer besonders starken Erwärmung ausgesetzten Wicklungsköpfe sehr intensiv gekühlt werden.

Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß Ein- und Auslaßkanäle des den Motor umschließenden Teils des Kühlkreislaufts sich in der Nähe je eines der beiden einander gegenüberliegenden Lagerschilde des Motors befinden. Dieses konstruktive Merkmal trägt dem Umstand Rechnung, daß die Kühlflüssigkeit den motorseitigen Wärmetauscher unabhängig von dem genauen Verlauf der Strömungskanäle in einer allgemeinen Vorzugsrichtung durchströmt. Um eine bei Rückführung des erhitzten Kühlmittels innerhalb des Wärmetauschers auftretende Reduzierung der Kühleistung zu vermeiden, sind die Anschlüsse der Zuführleitungen des Kühlkreislaufts im Bereich der einander gegenüberliegenden Lagerschilde des Motors angeordnet.

Zur Optimierung des Temperaturverhaltens läßt sich bei einem erfindungsgemäßen Elektromotor eine zusätzliche Luftkühlung vorsehen. Hierdurch kann eine zusätzliche Luftkühlung in Form eines angebauten Gebläses je nach Motortemperatur ein- oder ausgeschaltet werden, so daß bei Spitzenbelastung des erfindungsgemäßen Elektromotors eine Überhitzung durch Einschalten des Gebläses verhindert werden kann.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnung erläutert. Deren einzige Figur zeigt einen erfindungsgemäßen Elektromotor, teilweise im Längsschnitt.

Die Erfindung wird anhand eines Drehstrom-Asynchronmotors 1 beispielhaft erläutert.

Der Motor 1 weist einen aus zwei in axialer Richtung 2 des Elektromotors 1 voneinander beabstandeten Einheiten 3, 4 bestehenden Ständer 5 sowie einen ebenfalls aus zwei entsprechend voneinander beabstandeten Einheiten 6, 7 gebildeten, magnetischen Teil 8 des Läufers auf, welcher die Motorwelle 9 konzentrisch umgibt.

Die Motorwelle 9 ist mittels eines ersten Radialkugellagers 10 im A-Lagerschild 11 um die Längsachse 2 drehbar gelagert und ragt über diesen Lagerschild 11 unter Bildung eines Abtriebswellenstummels 12 hervor. Im Abtriebswellenstummel 12 ist eine achsparallele Nut 13 zur Aufnahme einer das Motordrehmoment auf ein Abtriebszahnrad oder dergleichen übertragenden Feder vorgesehen. Ein zweites Radialkugellager 14 ist in den B-Lagerschild 15 eingesetzt und stützt die Motorwelle 9 im Bereich dieses Lagerschildes 15 ab. An dem B-Lagerschild 15 sind ein Tachometer 16 sowie ein Inkrementalgeber 17 in Längsrichtung 2 des Elektromotors 1 hintereinander angeordnet. Beide Meßeinrichtungen 16, 17 werden von einer über den B-Lagerschild 15 hinausragenden, stummelartigen Verlängerung der Motorwelle 9 durchsetzt, auf der die drehbeweglichen Teile der Meßeinrichtungen 16, 17 drehfest angeordnet sind. Die der Übertragung der Versorgungs- und Signalspannungen dienenden elektrischen Leitungen sind an Kabeldurchführungen 18, 19 aus dem Tachometer 16 und aus dem Inkrementalgeber 17 herausgeführt.

Der Ständer 5 des Elektromotors 1 weist eine dreiphasige Drehstromwicklung 20 auf, deren Wicklungsenden zu einem Klemmenkasten 21 geführt sind, in welchem der Anschluß an ein Drehstromnetz erfolgt. Beim Einschalten der dreiphasigen Netzspannung wird innerhalb des Luftspalts 22 zwischen Ständer 5 und Läufer 8 ein Magnetfeld erzeugt, dessen Maxima mit einer mechanischen Winkelgeschwindigkeit um die Motorachse 2 umlaufen, welche dem Quotienten aus der elektrischen Winkelgeschwindigkeit des Drehstromnetzes und der

Polpaarzahl des Ständers 5 entspricht. Von diesem magnetischen Drehfeld werden die in achsparallele Nuten des Läufers 8 eingegossenen, vom Läufersstrom durchflossenen Aluminium-Läuferstäbe der Läuferkäfige 23, 24 in tangentialer Richtung beschleunigt und mit einem drehmomentabhängigen Schlupf mitgezogen. Diese Winkelbeschleunigung überträgt sich auf die Läuferseinheiten 6, 7 und von diesen über je eine achsparallele Feder 25, 26 auf die Motorwelle 9.

Da das in dem Luftspalt 22 ausgebildete Magnetfeld gegenüber dem Ständer 5 mit seiner mechanischen Winkelgeschwindigkeit, relativ zum Läufer 8 dagegen mit seiner Schlupffrequenz umläuft, treten sowohl im Ständer 5 als auch im Läufer 8 ständig Ummagnetisierungen der Eisenteile auf. Zur Vermeidung von Wirbelströmen sind daher sowohl die Ständereinheiten 3, 4 als auch die Läuferseinheiten 6, 7 aus Paketen von übereinandergeschichteten Blechen entsprechenden Umfangs aufgebaut. Die Läuferblechpakete werden durch die stirnseitigen, in der Zeichnung schraffiert dargestellten Kurzschlußringe der Läuferkäfige 23, 24 zusammengepreßt.

Die Ständereinheiten 3, 4 weisen je eine kreiszylindrische, zur Motorlängsachse 2 konzentrische Ausnehmung 27, 28 auf. Innerhalb dieser Ausnehmungen 27, 28 befindet sich je eine Läuferseinheit 5, 6 mit identischer, achsparalleler Länge 29, 30, jedoch um die Dicke des Luftspalts 22 reduziertem Radius 31. Die Unterteilung von Ständer 5 und Läufer 8 in je zwei voneinander beabstandete Einheiten 3, 4; 6, 7 hat neben einer Reduzierung der mechanischen Spannungen innerhalb des Motors bei unterschiedlicher Erwärmung desselben vor allem herstellungstechnische Gründe. Die entsprechende Unterteilung von Ständer 5 und Läufer 8 hat jedoch kaum Einfluß auf das Drehmoment des Motors 1 und auf dessen Trägheitsmoment. Aus diesem Grund soll im folgenden abstrahierend nur von Ständer 5 und Läufer 8 gesprochen werden. Hierbei ergibt sich die für das mechanische Verhalten des Elektromotors 1 bestimmende Gesamtlänge 32 des Läufers 8 bzw. der entsprechenden Ausnehmung 27, 28 im Ständer 5 als Summe der einzelnen Längen 29, 30 der beiden Läuferseinheiten 6, 7 bzw. Ständereinheiten 3, 4.

Wie man der Figur leicht entnehmen kann, ist die so ermittelte Gesamtlänge 32 der Ausnehmung 27, 28 im Ständer 5 mehr als fünfmal so groß wie ihr mit dem Halbmesser 31 des Läufers 8 nahezu identischer Radius. Diese im Verhältnis zu herkömmlichen Elektromotoren sehr ausgefallene Läufergeometrie verleiht dem erfindungsgemäßen Elektromotor 1 ein hochdynamisches Betriebsverhalten mit einer sehr hohen, maximalen Winkelbeschleunigung und einem kräftigen Nennmoment.

Bei dem in der einzigen Figur wiedergegebenen Elektromotor 1 ist die Gesamtlänge 32 des Läufers 8 etwa doppelt so groß wie bei einem herkömmlichen Elektromotor der betreffenden Leistungsklasse, während der Läuferradius 31 gegenüber einem solchen Vergleichsmotor etwa halbiert worden ist. Bei einer gegensinnigen Veränderung von Radius 31 und Gesamtlänge 32 des Läufers 8 wird das Motormoment kaum verändert. Denn zwar erhöht sich aufgrund der Verdoppelung der Läufergesamtlänge 32 auch die Länge der vom Läufersstrom durchflossenen, dem Magnetfeld innerhalb des Luftspalts 22 ausgesetzten, achsparallelen Stäbe des Läuferkäfigs 23, 24 (die Aufteilung des Läuferkäfigs in zwei Einzelkäfige 23, 24 soll im weiteren ebenfalls vernachlässigt werden), so daß die auf die Läuferstäbe einwirkende, zu deren Gesamtlänge proportionale Ma-

gnetkraft ebenfalls erhöht, beim dargestellten Elektromotor 1 etwa verdoppelt ist. Andererseits ist der etwa dem Läuferradius 31 entsprechende Hebelarm, mit dem die magnetische Antriebskraft an der Motorwelle 9 treibend angreift, um ein entsprechendes Maß, bei dem gezeichneten Elektromotor 1 etwa auf die Hälfte, reduziert. Somit ist das durch das Produkt aus Antriebskraft und Hebelarm gegebene Motordrehmoment insgesamt etwa gleich dem Motordrehmoment eines herkömmlichen Elektromotors derselben Leistungsklasse.

Die maximale Winkelbeschleunigung des Elektromotors 1 ist jedoch durch den Quotienten aus dem maximalen Motordrehmoment und dem Trägheitsmoment aller bewegten Teile, im Extremfall also nur des Läufers 8 sowie der Abtriebswelle 9, bestimmt. Dabei wird die ein Maß für die Dynamik des Elektromotors 1 darstellende, bestenfalls erreichbare Winkelbeschleunigung dann maximal, wenn das Trägheitsmoment von Läufer 8 und Abtriebswelle 9 so klein als möglich ist. Das Trägheitsmoment der Abtriebswelle 9 läßt sich dabei kaum beeinflussen, da deren Geometrie nach Stabilitätsgesichtspunkten festgelegt wird und sich daher kaum verändern läßt.

Da der Beitrag eines Massenelements zum Trägheitsmoment eines Körpers proportional zum Quadrat seines Abstands zu der betreffenden Rotationsachse ist, hat ein langer, schlanker Körper mit nahe seiner Längsachse angeordneter Masse ein viel kleineres Trägheitsmoment als beispielsweise ein scheibenförmiger Körper gleicher Masse mit großem Umfang. Das Trägheitsmoment der Motorwelle 9 ist aufgrund deren geringen Halbmessers 33 deutlich niedriger als das Trägheitsmoment der magnetischen Teile 8 des Läufers mit dem etwa doppelten Radius 31. Es ist also durchaus zulässig, zur Bestimmung des Gesamtträgheitsmoments der rotierenden Teile 8, 9 des Elektromotors 1 den Abtriebswellenstummel 12 sowie den in die Messeinrichtungen 16, 17 hineinragenden Wellenfortsatz zu vernachlässigen und die rotierenden Teile durch einen homogenen Kreiszylinder zu approximieren, dessen Radius und Länge dem Radius 31 und der Gesamtlänge 32 des Läufers 8 entsprechen.

Das Trägheitsmoment eines solchen, um seine Längsachse 2 rotierenden Kreiszylinders ist proportional zu dem Produkt aus der vierten Potenz seines Radius 31 und aus seiner Gesamtlänge 32. Berücksichtigt man den Umstand, daß das Nennrehmoment des erfindungsgemäßen Elektromotors 1 etwa dem Nennrehmoment herkömmlicher Elektromotoren der selben Leistungsklasse entsprechen soll und aus diesem Grund das Produkt aus Radius 31 und Gesamtlänge 32 des Läufers 8 bei der Dimensionierung des Elektromotors 1 etwa konstant gehalten wird, so ergibt sich ein resultierendes Trägheitsmoment des idealisierten Kreiszylinders, welches proportional zur dritten Potenz seines Halbmessers 31 ist.

Hieraus folgt, daß bei unverändertem Höchstdrehmoment die maximale Winkelbeschleunigung etwa umgekehrt proportional zur dritten Potenz des Läuferradius 31 ist. Aus diesem Grund läßt sich die maximal erreichbare Winkelbeschleunigung durch Halbierung des Läuferradius 31 im Idealfall etwa auf den achtfachen Wert erhöhen. Dies ist die Ursache für die hohe Dynamik eines Elektromotors 1 mit der erfindungsgemäßen Läufergeometrie.

Aufgrund dieser geometrischen Verhältnisse treten allerdings Probleme bei der Abführung der innerhalb von Ständer 5 und Läufer 8 anfallenden Verlustwärme

auf. Obzwar die gesamte Verlustwärme näherungsweise etwa genauso groß ist wie bei herkömmlichen Elektromotoren der selben Leistungsklasse, ist eine Innenkühlung vermittels eines angebauten Gebläses aufgrund der anders gelagerten geometrischen Verhältnisse nicht so effektiv wie bei herkömmlichen Elektromotoren. Denn durch die Halbierung des Läuferradius 31 ist der Querschnitt des Luftspalts 22 bei unveränderter Dicke desselben etwa auf den halben Wert reduziert, während die Länge dieses verengten Bereichs etwa doppelt so hoch wie üblich ist. Um den magnetischen Rückschluß innerhalb des verjüngten Läufers nicht zu beeinträchtigen, können in demselben keine Lüftungskanäle eingeformt sein. Eine vermittels eines angebauten Gebläses in axialer Richtung durch den Luftspalt gepreßte Kühlluft findet daher einen relativ hohen Strömungswiderstand vor und bewegt sich daher vergleichsweise langsam durch den Luftspalt 22. Hierdurch reduziert sich einerseits der Luftdurchsatz, andererseits erwärmt sich die Kühlluft innerhalb des Luftspalts stärker, so daß die Kühlwirkung im Bereich des Luftaustritts stark reduziert ist.

Aufgrund der ungenügenden Innenkühlung muß der Elektromotor 1 von außen gekühlt werden. Die Kühlwirkung der natürlichen Konvektion der Umgebungsluft im Bereich des aufgeheizten Motorgehäuses ist jedoch insbesondere bei größeren Motorleistungen ebenfalls nicht ausreichend, um den Motor zu kühlen. Denn die innerhalb des Elektromotors 1 anfallende Verlustleistung steigt proportional zur dritten Potenz einer charakteristischen Länge des Elektromotors 1, während seine Oberfläche nur mit dem Quadrat dieser charakteristischen Länge ansteigt.

Die Anordnung eines zusätzlichen Lüfterrads auf der Motorwelle 9, insbesondere im Bereich eines Lagerschildes 11, 15, verbietet sich ebenfalls, da ein derartiges Lüfterrad das Beschleunigungsvermögen des Elektromotors 1 einerseits durch Erhöhung des Trägheitsmoments, andererseits durch die bremsende Wirkung des Luftwiderstands stark reduzieren würde. Außerdem wäre die Kühlung bei einer getakteten Betriebsart höchst unzureichend.

Zur Abführung der Verlustwärme des Elektromotors 1 ist eine Flüssigkeitskühlung vorgesehen. Diese Kühlart ist aufgrund des viel intensiveren Kontakts zwischen der Flüssigkeit und den abzukühlenden Bereichen des Elektromotors 1 in der Lage, eine weitaus größere Wärmemenge abzutransportieren als eine Luft-Außenkühlung.

Zum Abtransport der Verlustwärme zirkuliert ein flüssiges Kühlmittel 34 innerhalb eines geschlossenen Kühlkreislaufs 35. Der Kühlkreislauf 35 umfaßt einen motorseitigen Wärmetauscher 36, in welchem sich das Kühlmittel 34 aufheizt, einen externen Wärmetauscher 37, in dem das Kühlmittel 34 die aufgenommene Wärme an die Umgebungsluft abgibt, sowie eine Kühlmittelpumpe 38, welche die Kühlmittel 34 ständig in Bewegung hält.

Der motorseitige Wärmetauscher 36 ist aus zwei konzentrisch ineinandergeschobenen Hülsen 39, 40 aufgebaut. Beide Hülsen haben etwa die Länge 32 des Ständers. Die innere Hülse 39 umschließt daher den Ständer 5 vollständig und liegt an dessen äußerer Mantelfläche vollflächig an. Zur Erzielung eines minimalen Wärmeübergangswiderstands zwischen Ständer 5 und innerer Hülse 39 sind die Blechpakete 3, 4 reibschlüssig in die Hülse 39 hineingepreßt.

Die innere Hülse 39 ist im Bereich ihrer beiden Stirn-

seiten 41, 42 durch ringförmige Schweißnähte 43, 44 mit je einer rundumlaufenden Manschette 45, 46 verbunden. Die Manschetten 45, 46 weisen Befestigungslaschen 47, 48 zur Befestigung des Elektromotors 1 auf einer ebenen Grundplatte auf. Die innere Hülse 39 bildet demnach ein tragendes Bauteil des Elektromotors 1 und ist insbesondere in der Lage, das auf den Ständer 5 einwirkende, entgegen dem die Motorwelle 9 beschleunigenden Motormoment gerichtete Drehmoment aufgrund des intensiven Reibschlusses vom Ständer 5 aufzunehmen und über die Manschetten 45, 46 die Befestigungslaschen 47, 48 auf die Grundplatte abzugeben. Andererseits sind die in den Radialkugellagern 10, 14 die Motorwelle 9 und damit auch den Läufer 8 abstützenden Lagerschilde 11, 15 mit Hilfe von Schraubverbindungen 49, 50 an den äußeren Stirnseiten 51, 52 der Manschetten 45, 46 festgelegt.

Die innere Hülse 39 weist an ihrer Außenseite 53 Kühlrippen 54 gleichbleibender Höhe auf. Auf deren freien Stirnseiten 55 liegt die äußere Hülse 40 unter leichtem Anpreßdruck auf, so daß zwischen den beiden Hülsen 39, 40 und je zwei Kühlrippen 54 Strömungskanäle 56 für die Kühlmittel 34 entstehen. Die Kühlrippen 54 umgeben die innere Hülse 39 entlang einer wendelförmigen Linie, so daß die einzelnen Strömungskanäle 56 sich zu einem einzigen, den Elektromotor 1 entlang einer wendelförmigen Bahn umgebenden Hohlraum ergänzen. Innerhalb dieses wendelförmigen Hohlraums strömt die Kühlmittel 34 vom Einlaß 57 des motorseitigen Wärmetauschers 36 bis zu dessen Auslaß 58.

Da die Wicklungsköpfe 62, 63 während des Betriebes einer besonders starken Erwärmung ausgesetzt sind und die dabei anfallende Verlustwärme nicht durch Ständerblechpakete 3, 4 zu dem den Ständer 5 umgebenden Wärmetauscher 36 abtransportiert werden kann, ist in jedem Wicklungskopf 62, 63 ein ringförmiges, die Motorlängsachse 2 etwa konzentrisch umgebendes Kühlrohr 64, 65 angeordnet. Die beiden Enden der zu je einem nahezu vollständig geschlossenen Kreisring gebogenen Kühlrohre 64, 65 sind etwa radial nach außen abgewinkelt und durchsetzen das Motorgehäuse im Bereich der rundumlaufenden Manschetten 45, 46.

Die Kühlrohre 64, 65 sind mit dem motorseitigen Wärmetauscher 36 in Serie geschaltet. Dabei ist der Auslaß 66 des Kühlrohres 65 mit dem Einlaß 57 des motorseitigen Wärmetauschers 36 verbunden, so daß das Kühlrohr 65 stromaufwärts des Ständers umgebenden Wärmetauschers 36 angeordnet ist. Andererseits ist das Kühlrohr 64 stromabwärts dieses Wärmetauschers 36 eingeschaltet, indem sein Zulauf 67 mit dem Auslaß 58 des Wärmetauschers 36 verbunden ist.

Das Kühlmittel 34 entzieht dem Ständer 5 unter allmählicher Erwärmung laufend die in diesem anfallende Verlustwärme. Diese wird mit dem Kühlmittel 34 zum externen Wärmetauscher 37 transportiert und dort an die Umgebungsluft abgegeben. Das dabei abgekühlte Kühlmittel 34 wird über die Pumpe 38 wieder dem Einlaß 57 des motorseitigen Wärmetauschers 36 zugeführt.

Die äußere Hülse 40 bildet einen direkten Teil des Motorgehäuses 59 und kann daher an ihrer Außenfläche 60 zusätzlich Wärme an die Umgebungsluft abgeben. Damit die Verlustwärme auf diesem Weg einen möglichst geringen Wärmewiderstand vorfindet, ist die äußere Hülse 40 relativ dünn ausgebildet. Dies beeinträchtigt jedoch die Stabilität des Motorgehäuses 59 nicht, da die äußere Hülse 40 sich in relativ kurzen Abständen auf den Stirnseiten 55 der Kühlrippen 54 abstützt. Zur Ab-

dichtung des Kühlkreislaufts 35 ist die äußere Hülse 40 an ihren beiden Stirnseiten mit den Manschetten 45, 46 verschweißt.

Patentansprüche

1. Hochdynamischer Elektromotor (1) mit einem dreiphasigen Drehstromwicklung (20) tragenden Ständer (5) aus magnetischem Werkstoff, der eine kreiszylindrische Ausnehmung (27, 28) für einen Innenläufer mit einem magnetischen Teil (8) entsprechender Abmessungen umschließt, wobei die Länge (32) des magnetischen Teils des Läufers (8) mindestens etwa drei- bis viermal so groß ist wie dessen Radius (31), mit einem Kühlkreislauf (35), in dem ein flüssiges Kühlmittel (34) zirkuliert, das zwischen zwei zumindest teilweise voneinander beabstandeten, den Ständer (5) etwa konzentrisch umschließenden Hülse (39, 40) strömt, wobei die innere Hülse (39) aus gut wärmeleitendem Werkstoff, vorzugsweise Metall, gefertigt ist und an der Ständeraußenseite unter Ausbildung eines Übergangs mit geringem Wärmewiderstand vollflächig anliegt und mit einer Ständerwickelkopfkühlung, die mit dem Kühlkreislauf (35) für das in den Hülse (39, 40) strömende Kühlmittel (34) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Ständerwickelkopfkühlung aus einem innerhalb jedes ständerseitigen Wicklungskopfes (62, 63) ringförmig die Motorachse (2) etwa konzentrisch umgebenden Rohr (64, 65) besteht, und daß der magnetisierbare Teil von Ständer (5) und Läufer (8) aus jeweils mehreren, in axialer Richtung (2) voneinander beabstandeten Einheiten (3, 4; 6, 7) zusammengesetzt ist.
2. Hochdynamischer Elektromotor (1) mit einem dreiphasigen Drehstromwicklung (20) tragenden Ständer (5) aus magnetischem Werkstoff, der eine kreiszylindrische Ausnehmung (27, 28) für einen Innenläufer mit einem magnetischen Teil (8) entsprechender Abmessungen umschließt, wobei die Länge (32) des magnetischen Teils des Läufers (8) mindestens etwa drei- bis viermal so groß ist wie dessen Radius (31), mit einem Kühlkreislauf (35), in dem ein flüssiges Kühlmittel (34) zirkuliert, das zwischen zwei zumindest teilweise voneinander beabstandeten, den Ständer (5) etwa konzentrisch umschließenden Hülse (39, 40) strömt, wobei die innere Hülse (39) aus gut wärmeleitendem Werkstoff, vorzugsweise Metall, gefertigt ist und an der Ständeraußenseite unter Ausbildung eines Übergangs mit geringem Wärmewiderstand vollflächig anliegt und mit einer Ständerwickelkopfkühlung, die mit dem Kühlkreislauf (35) für das in den Hülse (39, 40) strömende Kühlmittel (34) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Ständerwickelkopfkühlung aus einem innerhalb jedes ständerseitigen Wicklungskopfes (62, 63) ringförmig die Motorachse (2) etwa konzentrisch umgebenden Rohr (64, 65) besteht, wobei die Kühlrohre (64, 65) mit dem hülseförmigen Wärmetauscher (36) derart in Serie geschaltet sind, daß ein Kühlrohr (65) stromaufwärts, das andere Kühlrohr (64) stromabwärts desselben angeordnet ist.
3. Elektromotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Hülse (39) an ihrer Außenseite (53) Kühlrippen (54) aufweist.
4. Elektromotor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Hülse (39) auf den Kühl-

rippen (54) aufliegt, so daß sich zwischen denselben Strömungskanäle (56) für die Kühlflüssigkeit (34) ergeben.

5. Elektromotor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlrippen die innere Hülse in Form von kreisförmigen Stegen umgeben.
6. Elektromotor nach Anspruch 4 oder 5, gekennzeichnet durch achsparallele Verbindungskanäle zwischen den einzelnen Strömungskanälen.
7. Elektromotor nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch zwei etwa achsparallele Verbindungskanäle, von denen einer mit dem Einlaßkanal und der andere mit dem Auslaßkanal verbunden ist.
8. Elektromotor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlrippen (54) die innere Hülse (39) in Form eines gewendelten Stegs umgeben.
9. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Hülse (39) als den Ständer (5) tragendes Bauteil ausgebildet und mit den Motorbefestigungselementen, insbesondere Befestigungslaschen (47, 48), und/oder mit den Lagerschilden (11, 15) form- und/oder reibschlüssig verbunden ist.
10. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Hülse (40) einen Teil des Motorgehäuses (59) bildet.
11. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Ein- und Auslaßkanäle (57, 65, 67; 58, 66, 68) der motorseitigen Wärmetauscher (36, 64, 65) sich in der Nähe je eines der beiden einander gegenüberliegenden Lagerschilde (11, 15) des Motors (1) befinden.
12. Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine zusätzliche Luftkühlung.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

